

Pengaruh Katalis Asam (H_2SO_4) dan Suhu Reaksi pada Reaksi Esterifikasi Minyak Biji Karet (*Hevea brasiliensis*) menjadi Biodiesel

Fitri Yuliani, Mira Primasari, Orchidea Rachmaniah dan M. Rachimoellah

Laboratorium Biomassa dan Energi, Jurusan Teknik Kimia,
Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
Email: orchideaceae@yahoo.com

Abstrak

Proses pembuatan biodiesel dari minyak nabati umumnya dilakukan melalui reaksi transesterifikasi menggunakan katalis basa. Proses ini membutuhkan bahan baku minyak dengan kemurnian tinggi. Minyak ber kandungan asam lemak bebas tinggi tidak sesuai digunakan dengan metode tersebut karena asam lemak akan bereaksi dengan katalis basa menghasilkan sabun yang akan mempersulit proses pemisahan ester (biodiesel) dengan gliserol. Biji karet, hingga saat ini, belum banyak dimanfaatkan keberadaannya. Biji karet memiliki kandungan minyak 40-50%-berat yang berpotensi sebagai bahan baku dalam pembuatan biodiesel. Pemanfaatan bahan baku minyak nonedibel berharga murah akan meminimalkan biaya produksi biodiesel sehingga diharapkan dapat dihasilkan biodiesel dengan yang harga bersaing terhadap petrodiesel. Biodiesel berbahan baku minyak biji karet dengan kandungan asam lemak tinggi perlu direaksikan terlebih dahulu guna menurunkan kadar asam lemak hingga $\leq 2\%$ melalui reaksi esterifikasi. Selanjutnya, minyak tersebut dilanjutkan dengan reaksi transesterifikasi. Penelitian ini meneliti pengaruh katalis asam (H_2SO_4) dan suhu reaksi pada reaksi esterifikasi minyak biji karet (*Hevea Brasiliensis*) menjadi Biodiesel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu reaksi esterifikasi prosentase penurunan asam lemak semakin besar. Berat katalis H_2SO_4 sebesar 0,5%-berat memberikan prosentasi penurunan paling cepat (berturut-turut mencapai 1,57 dan 1,33%FFA dalam 120 menit reaksi pada $55^\circ C$ dan $60^\circ C$). Sedangkan untuk berat katalis H_2SO_4 0,25%, 1% dan 2% prosentase penurunan asam lemak cenderung berjalan lambat (pada waktu reaksi yang sama dan suhu reaksi $55^\circ C$ berturut-turut mencapai 3,91; 3,16; dan 2,62%FFA (Free Fatty Acid) untuk 0,25%, 1% dan 2%-berat katalis). Kondisi operasi yang memberikan yield crude FAME (Fatty Acid Methyl Ester) terbesar adalah suhu reaksi esterifikasi $60^\circ C$ dan 0,5%-berat katalis H_2SO_4 .

Kata kunci : biodiesel, esterifikasi berkatalis asam, *Hevea brasiliensis*, minyak biji karet, transesterifikasi berkatalis basa.

Abstract

Biodiesel productions, generally, use transesterification reaction with base as a catalyst. Thus reaction process will be need raw materials oils in high grade quality. Oils with high content of free fatty acids are not suitable for base-catalyzed transesterification reaction. Because of the difficulty of separation process for purify biodiesel or methyl ester from its mixture in the end of the processes. Rubber seed, until now, still underutilized specially in Indonesia which is has an abundant amount of rubber plantation. Rubber seed contain 40-50%-w of oil, which is potentially use as a raw material for biodiesel production. Use an edible oils, unexpensive materials would be minimized the biodiesel production cost in order to produce high quality of biodiesel with competitive market price. Biodiesel production process which is using rubber seed oil high free fatty acid content as a raw material should be decrease the free fatty acids level in to 2%-FFA or

less via esterification method. Following with transesterification, afterwards. This research designed to investigate the effects of catalyst amounts (H_2SO_4) and temperature reaction of esterification method. Experiment results show that increasing on temperature reaction would be decreased free fatty acids content. 0,5%-w of acid catalyst amount decreased free fatty acids contents rapidly. There are 1,57% and 1,33%-FFA in 120 minute reaction time, 55°C and 60°C temperature reaction respectively. For others amount of acid catalyst (0,25%, 1%, and 2%-w), the decreased level of free acid content were work slowly. Respectively, 3,91; 3,16; and 2,62%-FFA for 0,25%, 1%, and 2%-w of acid catalyst amounts. Esterification reaction conditions: 60°C and 0,5%-w of H_2SO_4 given the higher FAME content.

Keywords : biodiesel, acid-catalyzed transesterification, *Hevea brasiliensis*, rubber seed oil, base-catalyzed transesterification.

Pendahuluan

Kontinuitas penggunaan bahan bakar minyak (BBM) berbasis fosil (*fossil fuel*) memunculkan paling sedikit dua ancaman serius: (1) faktor ekonomi, berupa jaminan ketersediaan bahan bakar fosil untuk beberapa dekade mendatang, masalah suplai, harga dan fluktuasinya (2) polusi akibat emisi pembakaran bahan bakar fosil ke lingkungan. Polusi yang ditimbulkan oleh pembakaran bahan bakar fosil memiliki dampak langsung maupun tidak langsung kepada derajat kesehatan manusia. Polusi langsung bisa berupa gas – gas berbahaya, seperti CO, NO_x, dan UHC (*Unburn Hydrocarbon*), juga unsur metalik seperti Timbal (Pb). Sedangkan polusi tidak langsung mayoritas berupa ledakan jumlah molekul CO₂ yang berdampak pada pemanasan global (*Global Warming Potential*). Kesadaran terhadap ancaman serius tersebut telah mengintensifkan berbagai riset yang bertujuan menghasilkan sumber – sumber energi (*Energy Resources*) ataupun pembawa energi (*Energy Carrier*) yang lebih terjamin keberlanjutannya (*sustainable*) dan lebih ramah lingkungan. Biodiesel dan pemakaian dalam bahan bakar sebagai campuran biodiesel dan bensin (B10) adalah salah satu alternatif yang paling memungkinkan transisi ke arah implementasi energi alternatif.

Data dari departemen ESDM menyebutkan bahwa produksi minyak di Indonesia saat ini per tahunnya sebesar 55 juta ton, dimana produksi ini diperkirakan hanya dapat mencukupi kebutuhan BBM di Indonesia selama 10 tahun ke depan. Oleh karena itu, pemanfaatan energi terbarukan

seperti pemakaian biodiesel diharapkan dapat mengurangi atau mensubstitusi sekitar 40% atau 25 juta kilo liter kebutuhan BBM nasional yang sampai saat ini masih harus dipenuhi dengan cara mengimpor. Untuk itu, pemerintah Indonesia mengeluarkan PP No: 5 Tahun 2006 tentang kebijakan Energi Nasional untuk mengembangkan sumber energi alternatif sebagai bahan bakar pengganti minyak. Pada tahun 2005 di Jakarta telah dilaksanakan sosialisasi bahan bakar alternatif (B10), namun hingga sekarang pemakaian bahan bakar ini masih sebesar 2% (Roadmap energi Departemen-ESDM, 2004).

Biodiesel merupakan sumber energi alternatif pengganti solar yang terbuat dari minyak tumbuhan atau lemak hewan. Biodiesel diperoleh dari reaksi minyak tanaman (trigliserida) dengan alkohol yang menggunakan katalis basa pada suhu dan komposisi tertentu, sehingga di hasilkan dua zat yang disebut alkil ester (umumnya metil ester atau sering disebut biodiesel) dan gliserol. Proses reaksi ini disebut transesterifikasi (Zhang et. al., 2003).

Indonesia sebagai negara yang sangat kaya akan sumber daya hayati memiliki berbagai tanaman yang berpotensi sebagai bahan baku pembuatan biodiesel diantaranya: pangan: sawit, kelapa, kacang (*peanut*), kelor (*Moringa oleifera*), saga utan (*Adenantha pavonina*), kasumba/kembang pulu (*Carthamus tinctorius*), jarak pagar (*Jatropha curcas*), kapok, kemiri, nimba (*Azadirachta indica*), nyamplung (*Calophyllum inophyllum*), kesambi (*Schleichera oleosa*), randu alas (*Bombax malabaricum*), jarak gurita (*Jatropha*

multifida), jarak landi (*Jatropha gossypifolia*), dan banyak lagi yang lain. Namun mengingat Indonesia adalah negara penghasil karet nomor dua di dunia setelah Malaysia. Berdasarkan data statistik, perkebunan karet di Indonesia (2002) luas kebun karet di Indonesia mencapai 3.318.105 Ha dan diperkirakan mampu menghasilkan minyak biji karet sebesar 25.622.406,8 L/tahun yang hingga saat ini, biji karet belum banyak dimanfaatkan. Maka dilakukan penelitian untuk memanfaatkan biji karet agar memiliki nilai ekonomis yang lebih tinggi. Selain itu pemakaian bahan baku minyak nonedible yang berharga murah akan menurunkan biaya produksi biodiesel sehingga dapat dihasilkan biodiesel yang bersaing dengan petrodiesel. Oleh sebab itu, penelitian ini dilakukan dengan tujuan mempelajari pengaruh jumlah katalis dan suhu reaksi pada reaksi esterifikasi terhadap penurunan %FFA dan yield FAME.

Buah karet berbentuk kotak tiga atau empat. Setelah berumur enam bulan buah akan masak dan pecah sehingga biji karet terlepas dari batoknya. Biji karet mempunyai bentuk elipsoid, dengan panjang 2,5-3 cm, yang mempunyai berat 2-4 gram/biji. Biji karet terdiri dari 40-50% kulit yang keras berwarna coklat, 50-60% kernel yang berwarna putih kekuningan. Kernel biji karet terdiri dari 45,63% minyak, 2,71% abu, 3,71% air, 22,17% protein dan 24,21% karbohidrat sehingga biji karet berpotensi digunakan sebagai bahan baku biodiesel. Akan tetapi, kandungan air yang cukup besar dalam biji karet dapat memicu terjadinya hidrolisa trigliserida menjadi asam lemak. Oleh sebab itu, biji karet perlu dikeringkan terlebih dahulu sebelum dipres untuk diambil minyaknya (Ikwuagwu et. all., 2000).

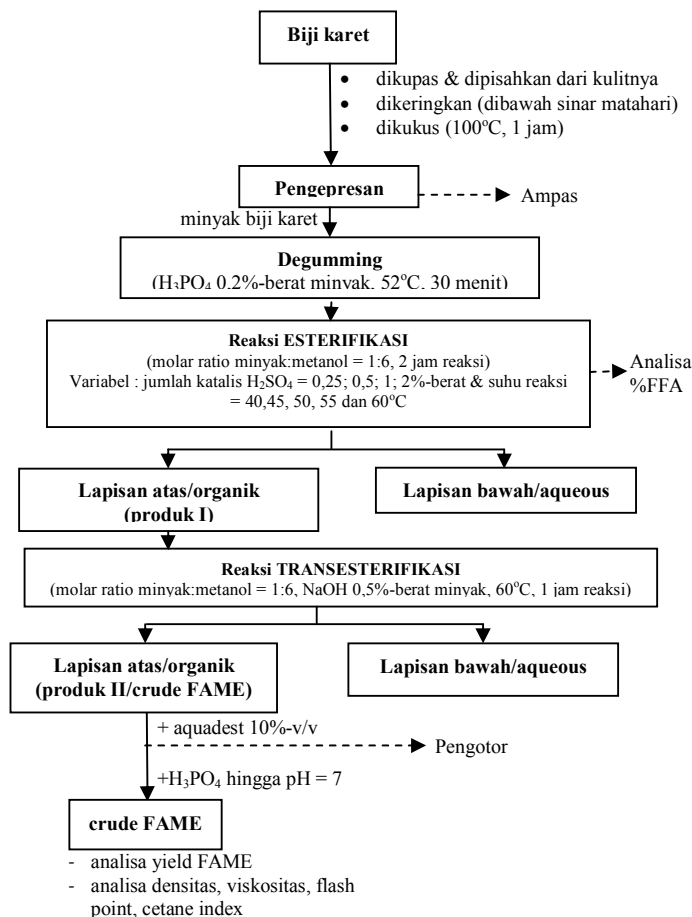
Metodologi Penelitian

Mengingat bahan baku minyak biji karet memiliki kandungan asam lemak tinggi, 17% (Ramadhas et. all., 2005) maka pembuatan biodiesel dilakukan dengan dua tahap reaksi: esterifikasi untuk menurunkan kandungan asam lemak hingga $\leq 2\%$ dan transesterifikasi untuk membentuk biodiesel (Ghadge dan Raheman, 2005 dan Canacki

et. all., 1999). Penelitian ini meneliti pengaruh berat katalis (H_2SO_4) (0,25%; 0,5%; 1% dan 2%-berat) dan suhu reaksi (40°C; 45°C; 50°C; 55°C; 60°C) pada reaksi esterifikasi terhadap %FFA dan yield FAME (*Fatty Acid Methyl Ester*). Adapun tahapan penelitian secara lengkap ditampilkan pada Gambar 1.

Penelitian ini menggunakan bahan baku biji karet dari daerah Lampung. Pengepresan untuk memperoleh minyak biji karet dilakukan secara mekanik menggunakan alat pres hidrolik. Sebagai reaktor berlangsungnya reaksi esterifikasi dan transesterifikasi digunakan labu leher tiga dilengkapi dengan pendingin balik, termometer, pemanas dan pengaduk magnetik. Pemisahan antara produk (lapisan atas/organik) dengan lapisan *aqueous*-nya dilakukan menggunakan corong pemisah.

Pengambilan sampel dilakukan dengan selang waktu yaitu 0, 5, 15, 30, 50, 60, 90, 120, 150, 180 dan 210 hingga tercapai kadar %FFA (*Free Fatty Acid*) $\leq 2\%$. Untuk keperluan analisa, masing-masing diambil 1 mL sampel dan disimpan dalam botol sampel yang telah diisi dengan 2 mL n-heksan dan 2 mL aquadest. Sampel dilapisan n-heksan inilah yang selanjutnya diambil untuk keperluan analisa. Analisa asam lemak dilakukan menggunakan metode titrasi, pelarut alkohol absolut dengan indikator penolphtalin (p.p). Sedangkan perhitungan yield FAME dilakukan berdasarkan massa minyak awal sebagai bahan baku.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Hasil dan pembahasan

Ketaren (1986) menyebutkan bahwa metode pengepresan mekanis (*mechanical expression*) lebih sesuai digunakan untuk mengambil minyak dari bahan biji-bijian dengan kandungan minyak tinggi (30-70%). Mengingat kernel biji karet mengandung kadar minyak tinggi 45,63% (Ikwaagwu et. all., 2000) maka metode pengepresan mekanis paling sesuai untuk pengambilan minyak dari biji karet. Sebelum pengepresan dilakukan pemisahan biji karet dari daun dan kotoran, pemecahan kulit luar dan pemasakan dalam oven pada suhu 100°C hingga kadar air $\pm 1,85\%$. Perlakuan tersebut memberikan kadar minyak sebesar 20%-berat. Pengeringan terhadap kernel biji karet hingga kadar 1,85% perlu dilakukan karena

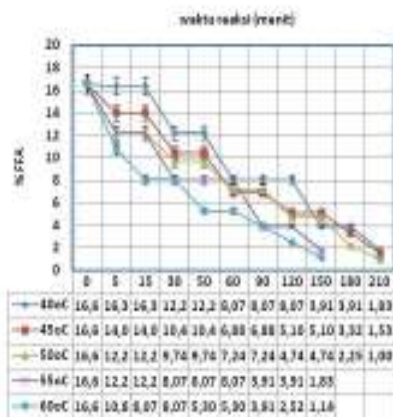
pada kernel biji karet segar (*fresh*) kadar airnya cukup tinggi (6,79%). Kondisi tersebut menyulitkan proses pengepresan, mengingat kernel yang dipres akan hancur dan menempel pada alat pres sehingga kadar minyak yang diperoleh akan menurun.

• Pengaruh jumlah katalis asam terhadap penurunan FFA pada reaksi esterifikasi

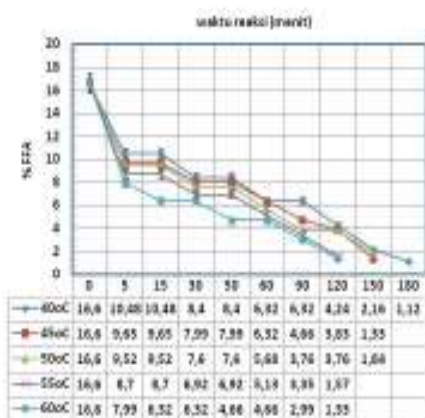
Minyak biji karet yang digunakan pada penelitian ini memiliki kandungan asam lemak cukup tinggi, 16% sehingga perlu dilakukan reaksi esterifikasi untuk menurunkan kandungan asam lemak sebelum dilakukan reaksi transesterifikasi. Canacki et. all. (1999) dan Ramadhas et. all. (2005) menyebutkan bahwa minyak berkontungan asam lemak tinggi ($>2\%$ -FFA) tidak sesuai digunakan untuk bahan baku pada reaksi transesterifikasi. Perlu dilakukan reaksi dua tahap yaitu esterifikasi dan transesterifikasi guna menurunkan kandungan asam lemak hingga $<2\%$ (Ramadhas et. all., 2005). Mengingat bahan baku minyak dengan kandungan asam lemak tinggi jika digunakan sebagai bahan baku pada reaksi transesterifikasi yang berkatalis basa, maka asam lemak akan bereaksi dengan katalis membentuk sabun melalui reaksi penyabunan, sehingga efektifitas katalis akan menurun karena sebagian katalis bereaksi dengan asam lemak. Selain itu, kondisi tersebut akan menurunkan *yield* ester dan mempersulit proses pemisahan (Canacki et. all., 1999). Penelitian ini memilih metanol sebagai jenis alkohol pereaktannya mengingat metanol adalah senyawa alkohol berantai karbon terpendek dan bersifat polar. Sehingga dapat bereaksi lebih cepat dengan asam lemak, dapat melarutkan semua jenis katalis (baik basa maupun asam) dan lebih ekonomis (Fangrui Ma et. all., 1999).

Penelitian ini meneliti variabel berat katalis dan suhu reaksi pada reaksi esterifikasi terhadap yield metil ester akhir. Adapun variabel yang diteliti: berat katalis H_2SO_4 0,25%; 0,5%; 1% dan 2% dan suhu reaksi 40°C, 45°C, 50°C, 55°C, dan 60°C. Analisa %FFA dilakukan dengan menggunakan metode titrimetri. Gambar 2 hingga 5 menunjukkan penurunan %FFA

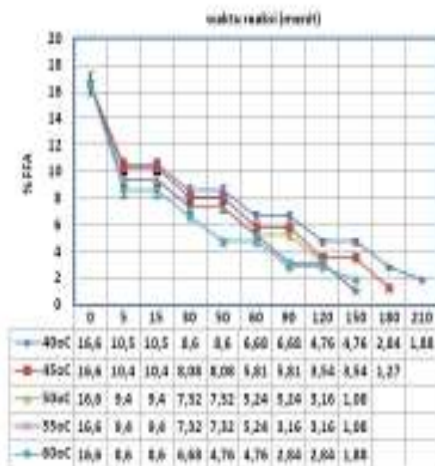
selama reaksi esterifikasi untuk berbagai variabel suhu reaksi dan jumlah katalis.



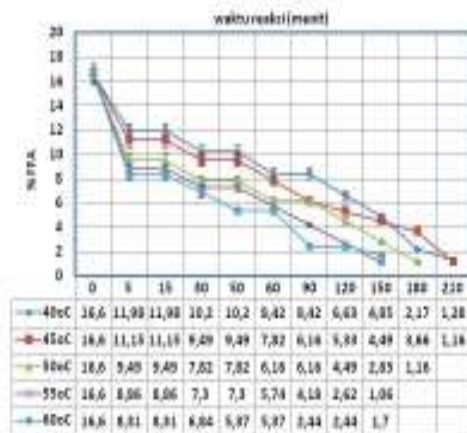
Gambar 2. Penurunan %FFA pada reaksi esterifikasi (molar ratio minyak:metanol = 1:6; katalis H_2SO_4 0,25%-berat) pada berbagai suhu reaksi



Gambar 3. Penurunan %FFA pada reaksi esterifikasi (molar ratio minyak:metanol = 1:6; katalis H_2SO_4 0,5%-berat) pada berbagai suhu reaksi



Gambar 4. Penurunan %FFA pada reaksi esterifikasi (molar ratio minyak:metanol = 1:6; katalis H_2SO_4 1%-berat) pada berbagai suhu reaksi

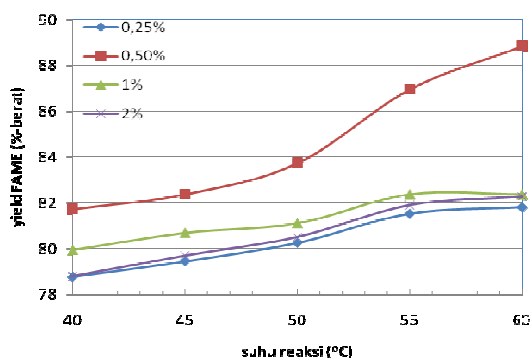


Gambar 5. Penurunan %FFA pada reaksi esterifikasi (molar ratio minyak:metanol = 1:6; katalis H_2SO_4 2%-berat) pada berbagai suhu reaksi

Hasil penelitian menunjukkan untuk variabel jumlah katalis asam dengan berbagai variabel suhu reaksi terlihat bahwa waktu penurunan %FFA paling singkat diperoleh saat jumlah katalis asam 0,5%-

berat (Gambar 3). Terlihat bahwa pada suhu reaksi 55°C dan 60°C dengan waktu reaksi 120 menit, berturut-turut tercapai 1,57 dan 1,33%FFA. Sedangkan untuk variabel jumlah katalis yang lain (1% dan 2%-berat), %FFA <2% baru tercapai setelah 150 menit reaksi (suhu 50, 55 dan 60°C), Gambar 4 dan 5. Demikian halnya pada jumlah katalis 0,25% (Gambar 2). Sehingga dapat disimpulkan, jumlah katalis 0,5% dan suhu reaksi 55°C memberikan prosen penurunan %FFA terbaik untuk waktu reaksi 120 menit.

Pada pemakaian jumlah katalis > 0,5% (1% dan 2%) memberikan hasil produk larutan (produk I) yang lebih gelap. Sebagaimana disebutkan dalam Ramadhas et. all. (2005) kelebihan katalis (*excess* H₂SO₄) akan menyebabkan larutan produk berwarna lebih gelap, terbentuknya dimetil eter dari reaksi antara *excess* H₂SO₄ dengan metanol. Sehingga akan menyebabkan penurunan %FFA berjalan lebih lambat akibat berkurangnya jumlah metanol yang bereaksi dengan asam lemak bebas (<http://www.journeytoforever.org/biofuel.html>). Selain itu, dikhawatirkan kelebihan katalis asam akan terikut pada lapisan organik (produk I), dimana produk I akan digunakan kembali pada reaksi transesterifikasi. Sehingga kelebihan katalis yang ada dapat bereaksi dengan NaOH (katalis basa) pada reaksi berikutnya, transesterifikasi. Kondisi ini dapat menyebabkan turunnya yield metil ester, sebagaimana terlihat pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6. Yield *crude FAME* pada berbagai jumlah katalis

Gambar 6 menunjukkan hubungan bahwa peningkatan suhu reaksi pada tahap esterifikasi berbanding lurus dengan perolehan yield *crude FAME*. Yield *crude FAME* terbesar diperoleh pada suhu 60°C dengan jumlah katalis H₂SO₄ 0,5% sebesar 88,839%. Satish (2000) menyatakan bahwa pada suhu reaksi mendekati titik didih metanol (64,8°C) akan didapatkan yield maksimum.

Sedangkan pada jumlah katalis >0,5% (1% dan 2%), terlihat perolehan yield *FAME* yang lebih kecil dibandingkan saat jumlah katalis 0,25%. Sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya, saat digunakan jumlah katalis berlebih maka kelebihan asam (*excess* H₂SO₄) diduga akan terikut ke lapisan atas dan selanjutnya akan bereaksi dengan katalis basa (NaOH) pada tahap transesterifikasi, sehingga mempengaruhi yield *crude FAME*.

• Pengaruh suhu reaksi terhadap penurunan FFA pada reaksi esterifikasi

Hasil penelitian menunjukkan pada variabel suhu reaksi dengan berbagai jumlah katalis, semakin tinggi suhu reaksi maka prosentase penurunan %FFA semakin cepat. Suhu reaksi terbaik dicapai pada suhu 60°C. Sesuai dengan hukum Arrhenius bahwa laju reaksi sebanding dengan suhu reaksi (Levenspiel, 1999), dimana suhu reaksi semakin tinggi, konstanta laju reaksi (*k*) semakin besar, sehingga laju reaksi semakin besar. Persamaan hukum Arrhenius sebagai berikut: $k = k_0 e^{(-E/RT)}$

• Sifat-sifat fisik biodiesel hasil penelitian

Crude FAME hasil penelitian (kondisi reaksi esterifikasi mol rasio minyak:metanol = 1:6, jumlah katalis H₂SO₄ 0,5%-berat, 60°C, 2 jam reaksi, yield *FAME* 88,839%) dianalisa sifat-sifat fisiknya sesuai dengan standar FBI (Forum Biodiesel Indonesia). Sebagai pembandingan, juga dilakukan analisa pada kondisi reaksi yang lain dengan yield *FAME* sebesar 86,949% (kondisi reaksi esterifikasi mol rasio minyak:metanol = 1:6, jumlah katalis H₂SO₄ 0,5%-berat, 55°C, 2 jam reaksi). Hasil analisa sifat-sifat fisik tersebut ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat-sifat fisik *crude FAME* hasil penelitian berdasarkan standar FBI (Forum Biodiesel Indonesia)

Sifat	Satuan	Katalis H ₂ SO ₄ 0.5%		Standar biodiesel	Metode ASTM
		55°C	60°C		
Densitas (40°C)	g/ml	0.8592	0.8594	0.85 – 0.89	ASTM D-1298
Viskositas Kinematik (40°C)	mm ² /s (cSt)	4.22	4.06	2.3 – 6.0	ASTM D-445
Titik Nyala (Flash Point)	°C	118	120	Min. 100	ASTM D-93
Korosi Strip Tembaga (3 jam pada 50°C)		No. 1	No. 1	Maks No. 3	ASTM D-130
Calculated Cetane Index		42.3859	42.7756	Min. 51	ASTM D-976

Tabel 1 menunjukkan sifat-sifat fisik (densitas, titik nyala/*flash point*, viskositas kinematik, dan korosi lempeng tembaga) dari *crude FAME* hasil penelitian telah memenuhi standart FBI. Namun nilai *calculated cetane index (CCI)* berada di bawah nilai yang ditetapkan. Ramadhas et. all. (2005), menyebutkan bahwa rendahnya angka cetane turut dipengaruhi oleh derajat kejenuhan dan ketidakjenuhan dari gugus asam lemak pada metil ester. Tingginya derajat kejenuhan dari gugus asam lemak pada metil ester akan menyebabkan tingginya nilai cetane dan sebaliknya. Mengingat kandungan asam lemak tak jenuh pada minyak biji karet cukup tinggi (81,8%-berat, Ketaren, 1986) maka angka cetaninya rendah.

Kesimpulan

Simpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

1. Pada tahap esterifikasi, semakin tinggi suhu reaksi maka penurunan %FFA semakin cepat. Prosentase penurunan FFA paling cepat (<2%) terjadi pada jumlah katalis H₂SO₄ 0,5% dengan waktu 120 menit (tercapai 1,33% FFA di akhir reaksi).
2. Prosentase penurunan FFA pada reaksi esterifikasi mempengaruhi perolehan yield *crude FAME*. Semakin cepat penurunan %FFA maka perolehan yield FAME akan semakin besar meningkat. Kondisi perolehan yield *crude FAME* terbesar (88,839%) diperoleh pada suhu

reaksi 60°C dan jumlah katalis H₂SO₄ 0,5%.

DAFTAR PUSTAKA

- Bailey, Edward, 1982. **Bailey's Industrial Oil and Fat Products**. Vol 2, 4th ed, John Wiley and Sons Ltd, New York.
- Canacki, M., Van Gerpen, J. 1999. "Biodiesel Production via Acid Catalysis". **Trans ASAE** 42(5) : 1203-1210.
- Canacki, M., Van Gerpen, J. 2001. "Biodiesel Production From Oils and Fats with High Free Fatty Acids". **Trans ASAE** 44(6) : pp.1429-1436.
- Freedman, B., Pryde, E. H. Oct 1984. "Variables Affecting the Yields of Fatty Esters from Transesterified Vegetables Oils". **JAACS** 61(10) : pp.1638-1643.
- Fukuda, H., Kondo, A., Noda, H., Sept 2001, "Biodiesel fuel production by transesterifikasi of oils". **Journal of Bioscience And Bioengineering** 92 : pp.405-416.
- Ikwuagwu, O.E., Ononogobu, I.C., Njoku. O.U., 2000. "Production of biodiesel using rubber [*Hevea brasiliensis*] seed oil". **Ind Crops Prod** 12 : pp.57-62.
- Ketaren, S., 1986. **Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan**. UI-Press, Jakarta.
- Lele, Satish, 2000. **Biodiesel in India**. <URL:<http://www.biodiesel.com>>
- Ma Fangrui, Milford, A., Hanna. 1999. "Biodiesel production : a review". **Bioresource Technology** 70: pp.1-15.
- Ramadhas, A.S., Jayaraj, S., Muraleedharan, C., 2005. "Biodiesel production from high FFA rubber seed oil". **Fuel** 84 : pp.335-340.
- Shashikant Vilas Ghadge and Hifjur Rahemn, 2005. "Biodiesel Production from Mahua (*Madhuca indica*) Oil Having High Free Fatty Acids", **Biomass and Bioenergy** 28: pp. 601-605.